

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-219576

(43)Date of publication of application : 08.08.2000

(51)Int.Cl.

C04B 35/80  
C04B 41/84  
C04B 41/85

(21)Application number : 11-019416

(71)Applicant : ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND CO LTD

(22)Date of filing : 28.01.1999

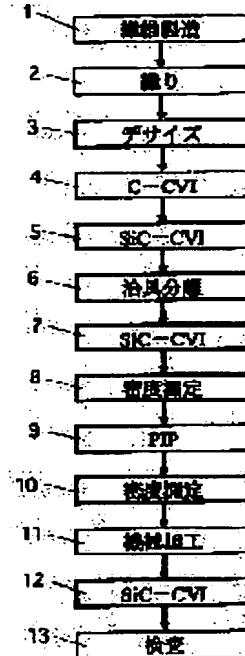
(72)Inventor : NAKAMURA TAKESHI  
MURATA HIROSHIGE  
MASAKI AKITATSU

## (54) CERAMIC-BASE COMPOSITE MEMBER AND ITS PRODUCTION

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To produce a ceramic-base composite member capable of enhancing airtightness and thermal shock resistance.

SOLUTION: Hybrid treatment consisting of CVI(chemical vapor impregnation) and PIP is adopted. A crack-free dense matrix is formed around ceramic fibers by CVI and a matrix is thoroughly impregnated and filled into the gaps by PIP to enhance airtightness. When the volume proportion of the matrix by the CVI is adjusted to about 5-80%, microcracks formed in the matrix by the PIP weakens the force of binding the ceramic fibers together, thus lowering the Young's modulus. Accordingly, the thermal stress is relieved and thermal shock resistance is enhanced.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3722188

[Date of registration] 22.09.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-219576  
(P2000-219576A)

(43)公開日 平成12年8月8日(2000.8.8)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	デマコード <sup>8</sup> (参考)
C 0 4 B 35/80		C 0 4 B 35/80	K
41/84		41/84	B
41/85		41/85	B
			C

審査請求 未請求 請求項の数3 O.L (全8頁)

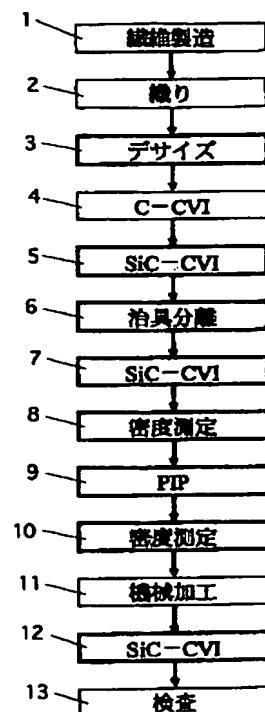
(21)出願番号	特願平11-19416	(71)出願人	000000099 石川島播磨重工業株式会社 東京都千代田区大手町2丁目2番1号
(22)出願日	平成11年1月28日(1999.1.28)	(72)発明者	中村 武志 東京都田無市向台町3丁目5番1号 石川島播磨重工業株式会社田無工場内
		(72)発明者	村田 裕茂 東京都江東区豊洲3丁目1番15号 石川島播磨重工業株式会社技術研究所内
		(72)発明者	正木 彰樹 東京都田無市向台町3丁目5番1号 石川島播磨重工業株式会社田無工場内
		(74)代理人	100097515 弁理士 堀田 実 (外1名)

### (54)【発明の名称】セラミックス基複合部材及びその製造方法

#### (57)【要約】

【課題】 気密性と耐熱衝撃性を大幅に高めることができるセラミックス基複合部材及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 C VI処理とPIP処理とを組み合わせたハイブリッド処理からなる。C VI処理により亀裂のない緻密なマトリックスをセラミックス繊維のまわりに形成し、その隙間にPIP処理によりマトリックスを完全に含浸・充填し、気密性を高める。またC VI処理によるマトリックスの体積比率を約5%以上、約8%以下にすることにより、PIP処理によるマトリックスには、微細な亀裂が存在するため、セラミックス繊維の拘束力が弱まり、ヤング率を低減することができ、この結果、熱応力が軽減され耐熱衝撃性が向上する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】成形した繊維織物の表面にSiCマトリックス層を形成するCVI処理を行った後に、そのマトリックス層の隙間に有機珪素ポリマーを基材として含浸し焼成するPIP処理を行う、ことを特徴とするセラミックス基複合部材の製造方法。

【請求項2】前記PIP処理は、前記SiCマトリックス層の体積比率が約5%以上かつ約80%以下になった後に行う、ことを特徴とする請求項1に記載のセラミックス基複合部材の製造方法。

【請求項3】成形した繊維織物の表面に形成されたSiCマトリックス層と、そのマトリックス層の隙間に形成された微細な亀裂を有するマトリックス層と、を備えたことを特徴とするセラミックス基複合部材。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、気密性と耐熱衝撃性にすぐれたセラミックス基複合部材及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】NTO/N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, NTO/MMH等を推進剤とするロケットエンジンの高性能化のために、燃焼器(スラストチャンバ)の耐熱温度を高めることが要望される。そのため、耐熱温度が約1500℃であるコーティング付きのニオブ合金が、従来多くのロケットエンジンのチャンバ材料として用いられてきた。しかしこの材料は、密度が高いため重く、高温強度が低く、コーティングの寿命が短い欠点があった。

【0003】一方、セラミックスは耐熱性が高いが脆い欠点があるため、これをセラミックス繊維で強化したセラミックス基複合部材(Ceramic Matrix Composite:以下、CMCと略称する)が開発されている。すなわち、セラミックス基複合部材(CMC)はセラミックス繊維とセラミックスマトリックスとからなる。なお、一般にCMCはその素材により、セラミックス繊維/セラミックスマトリックス(例えば、両方がSiCからなる場合、SiC/SiC)と表示される。

【0004】CMCは、軽量かつ高温強度が高いため、上述したロケットエンジンの燃焼器(スラストチャンバ)の他、高温部の燃料配管、ジェットエンジンのタービン翼、燃焼器、アフターバーナ部品等に極めて有望な材料である。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のCMCは、気密性を保持することができず、かつ耐熱衝撃性が低い問題点があった。すなわち、従来のCMCは、所定の形状をセラミックス繊維で構成したのち、いわゆるCVI処理(Chemical Vapor Infiltration:気相含浸法)で繊維の隙間にマトリックスを形成するが、このCVIで繊維間の隙間を完全に埋めるには実用不可能な長期間

(例えば1年以上)を要する問題点があった。また、このように形成した従来のCMCを高温で試験等すると、激しい熱衝撃(例えば温度差が900℃以上)が作用した場合に、強度低下が激しく、再使用がほとんどできない問題点があった。そのため、従来のセラミックス基複合部材(CMC)は、燃焼器(スラストチャンバ)や燃料配管のような気密性と耐熱衝撃性を要する部品には実質的に使用できないと考えられていた。

【0006】本発明は上述した問題点を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、気密性と耐熱衝撃性を大幅に高めることができ、これによりスラストチャンバ等にも実用可能なセラミックス基複合部材及びその製造方法を提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、成形した繊維織物の表面にSiCマトリックス層を形成するCVI処理を行った後に、そのマトリックス層の隙間に有機珪素ポリマーを基材として含浸し焼成するPIP処理を行う、ことを特徴とするセラミックス基複合部材の製造方法が提供される。

【0008】本発明の方法は、CVI処理とPIP処理とを組み合わせたプロセス(以下、ハイブリッド処理と呼ぶ)であり、CVI処理により亀裂のない緻密なマトリックスがセラミックス繊維のまわりに形成され、その隙間にPIP処理によりマトリックスが含浸・充填される。なお、ハイブリッド処理により形成されたマトリックスをハイブリッドマトリックスと呼ぶ。PIP処理は、CVI処理に較べてマトリックスの形成速度が早く、かつ短時間に繰り返して実施することができる。従って、これを繰り返すことにより、CVI処理後の隙間を完全に充填し、気密性を高めることができる。また、PIP処理によるマトリックスには、微細な亀裂が存在するため、セラミックス繊維の拘束力が弱い。そのため、CVI処理に加えPIP処理を施すことにより、CVI処理のみによる従来のCMCに比較して、ヤング率を低減することができ、その結果、熱応力が軽減され耐熱衝撃性が大幅に向上することが試験により確認された。

【0009】本発明の好ましい実施形態によれば、前記PIP処理は、前記SiCマトリックス層の体積比率が約5%以上かつ約80%以下になった後に行う。体積比率を5%未満にすると、セラミックス繊維を囲む緻密なマトリックスが少なくなり、耐酸化性が低下する。また、80%を超えるとヤング率の低下率が小さく、耐熱衝撃性を十分に高めることができない。従って、CVI処理によるマトリックスの体積比率を約5%以上、約80%以下にすることにより、CVI処理のみによる従来のCMCに比較して、ヤング率を十分に低減することができ、耐熱衝撃性を大幅に向上することができる。

【0010】また、本発明によれば、成形した繊維織物

の表面に形成されたSiCマトリックス層と、そのマトリックス層の隙間に形成された微細な亀裂を有するマトリックス層と、を備えたことを特徴とするセラミックス基複合部材が提供される。この構成により、微細な亀裂を有するマトリックスによるセラミックス繊維の拘束力が弱いため、一種の柔構造となり、ヤング率が低下して、熱応力が軽減され耐熱衝撃性が向上する。

#### 【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明のセラミックス基複合部材の製造方法を示すフロー図である。この図に示すように、本発明の方法は、繊維製造1、織り2、デサイズ3、C-CVI4、SiC-CVI5、治具分離6、SiC-CVI7、密度測定8、PIP9、密度測定10、機械加工11、SiC-CVI12、検査13の各工程の一部として用いられる。なお、治具分離6、SiC-CVI7、その他を省略することもできる。

【0012】繊維製造工程1と織り工程2では、SiC繊維を用いて所定の形状の繊維織物を成形する。織り工程2で成形する形状は、適用するロケットエンジンの燃焼器（スラストチャンバ）の他、高温部の燃料配管、ターピン翼、燃焼器、アフターバーナ部品等に適した立体形状であるのがよい。また、デサイズ工程3では、繊維上に被覆された余分なポリマーを除去する。機械加工工程11は、CVI処理とPIP処理とを組み合わせたハイブリッド処理で完成したセラミックス基複合部材（CMC）を機械加工や表面研削して、所望の部品を製造する工程である。この工程では、例えばダイヤモンド砥石を用いて所定の形状に加工する。

【0013】本発明の主要な工程は、上述したハイブリッド処理、すなわち、成形した繊維織物の表面に減圧雰囲気でSiCマトリックス層を形成するCVI処理と、形成したマトリックス層の隙間に有機珪素ポリマーを基材として含浸し焼成するPIP処理とからなる。

【0014】CVI処理は、図1の例では、C-CVI工程4と3回のSiC-CVI工程5、7及び12とからなる。C-CVI工程4は、成形された繊維織物にカーボン（好ましくはグラファイトカーボン）又はBN等をコーティングする工程である。コーティングの厚さは、0.1～1.0μm程度であるのがよい。かかるコーティング層は、特開昭63-12671号公報に開示されるように、マトリックスとセラミックス繊維とを分離繊維のじん性を強化する役割を果たす。

【0015】SiC-CVI工程5、7、12は、いわゆるCVI法（Chemical Vapor Infiltration: 気相含浸法）で処理する工程であり、炉内に専用治具で固定された織物を加熱し、減圧雰囲気にて例えばメチルトリクロロシランを流入させてSiCを合成させる。なお、2回のうち、最初の工程5及び7は、必要に応じて繰り返

し、CVI処理で合成されるマトリックスの体積比率を約5%以上かつ約80%以下にする。最後の工程12は、PIP処理で形成されたマトリックスの表面に緻密なマトリックスを形成する工程である。なお、工程12は不可欠ではなく、場合により省略してもよい。

【0016】PIP処理9は、CVI処理で形成したマトリックス層の隙間に有機珪素ポリマーを基材として含浸する含浸工程とその後の焼成工程とからなる。含浸工程と焼成工程は、必要に応じて繰り返して行う。含浸工程に使用する有機珪素ポリマーは、ポリカルボシラン溶液、ポリビニルシラン、ポリメタロカルボシラン等、或いはこれらとSiC粉末との混合物であるのがよい。これらの有機珪素ポリマーを用いて含浸し焼成するPIP処理により、微細な亀裂が存在するマトリックスを短時間に形成することができる。

【0017】また、このPIP処理における含浸は、浸漬、減圧含浸、加圧含浸のいずれか、或いはこれらの組み合わせによるのがよい。浸漬では、大量の有機珪素ポリマーを短時間に含浸させることができる。また減圧含浸では微細な隙間に有機珪素ポリマーを含浸させることができる。更に加圧含浸では、使用時の圧力方向に加圧して含浸することにより、気密性を高めることができる。

【0018】更に、本発明のセラミックス基複合部材は、成形した繊維織物の表面に形成されたSiCマトリックス層と、そのマトリックス層の隙間に形成された微細な亀裂を有するマトリックス層と、を備える。成形した繊維織物の表面のSiCマトリックス層は、上述したCVI処理で形成することができる。また、微細な亀裂を有するマトリックス層は、上述したPIP処理で形成することができる。

#### 【0019】

【実施例】以下、本発明の実施例を説明する。

##### 1. チャンバの製造方法

図1に示した製造方法により、SiC/SiCチャンバを製造した。このチャンバ用のSiC繊維として、宇部興産製のチラノLox-M繊維を使用した。この繊維をマンドレル上に編み、SiCマトリックスを含浸させた。また、マトリックスの含浸には、上述したCVI処理とPIP処理とを組み合わせたハイブリッド処理を適用した。含浸後、入口アタッチメント領域とノズル内面を機械加工した。

##### 2. リーク試験方法

リーク試験は0.7MPaで実施した。チャンバを水中に沈め、N<sub>2</sub>ガスで加圧し、チャンバを通過したガスを捕獲しリーク量として計測した。また、チャンバとチャンバスロートの間をシールし、ノズル部は加圧されないようにした。

##### 【0020】3. 耐圧試験方法

加圧媒体として水を用い、4.5MPaでチャンバの耐

圧試験を実施した。シール方法はリーク試験と同様である。

#### 4. 燃焼試験方法

燃焼条件における耐熱性と耐酸化性を確認するために燃焼試験をロケット試験設備を用いて実施し、NTO/N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>を推進剤として使用した。またこの試験では、噴射膜冷却率が26%と9%の2種を試験した。

#### 【0021】5. 热衝撃試験方法

熱衝撃抵抗を把握するため水クエンチ試験を実施した。

水クエンチ試験は、高温に加熱した試験片をそのまま水中で急冷するものである。比較のため2種の試験片を準

備した。一方の試験片は従来例のCVIマトリックスのみのものであり、デュポン製の標準ニカロン/SiCのCMCである。積層パターンは0/90/±45°とした。他方の試験片はCVI処理とPIP処理を組み合わせた本発明のハイブリッド処理によるCMCである。その積層パターンは0/90°である。各試験片を700°C及び900°Cに1時間保持した後、水中で急冷し、残存強度を急冷後に測定した。表1は、熱衝撃試験の材料特性の比較表である。

#### 【0022】

【表1】

Comparison of material properties of thermal shock test

Manufacturer	Matrix	Fiber	Lay up	Vf	Tensile Modulus
Du Pon't <sup>®</sup> IHI	CVI Hybrid	Nicalon 202 Tyranno Lox M	0/90/±45 8 satin	40% 44%	250 GPa 120 GPa

#### 【0023】6. リーク試験結果

マトリックス含浸の初期にはリークがあったが、PIP処理を繰り返すことにより、リークは0になった。

#### 7. 耐圧試験結果

3MPaで10分間保持後、最大圧力4.5MPaとする加圧プロファイルで試験したが、リーク、変形、その他の損傷も検出されなかった。すなわち、本発明のハイブリッド処理によるCMC(SiC/SiCチャンバ)が十分な強度を有することが確認された。

#### 【0024】8. 燃焼試験結果

図2は本発明の実施例におけるチャンバの温度変化図である。4回の燃焼試験を実施し、最長使用時間は22秒であった。また、チャンバ壁の計測最高温度は1424°Cであった。なお内面最高温度は約1800°Cと見積もられる。

#### 【0025】9. 热衝撃試験結果

図3と図4は従来のCVI処理のみによるCMCと、本発明によるハイブリッド処理によるCMCの残存強度をそれぞれ示している。これらの図において、図中の01と02は水クエンチ試験前、03～06は1回の水クエンチ試験後、07～10は10回の水クエンチ試験後のデータである。また、図中03, 04, 07, 08は700°Cからの水クエンチ試験であり、05, 06, 09, 10は900°Cからの水クエンチ試験である。図3及び図4から、1回の熱衝撃試験ではいずれも強度の明らかな低下は生じていないが、10回の熱衝撃試験後には、700°Cと900°Cの両方で残存強度が低下することがわかる。

【0026】また、図3に示すように、CVI処理のみによるCMC(CVIマトリックスタイプ)の残存強度

は、700°Cからの10回の熱衝撃試験後に約80%であり、900°Cからの試験では約30%であった。従って、CVIマトリックスタイプでは、200°Cの温度上昇により急激な強度低下を引き起こしている。一方、図4に示すようにハイブリッド処理によるCMC(ハイブリッドマトリックスタイプ)では、700°Cからの10回の熱衝撃試験後には同様に約80%であるが、900°Cからの試験では約60%であった。従って、ハイブリッドマトリックスタイプでは、700°Cから900°Cへの200°Cの温度上昇による強度低下は比較的少ないことがわかる。従って、マトリックスタイプとハイブリッドタイプを比較すると、耐熱衝撃抵抗は、ハイブリッドタイプの方が優れているといえる。

#### 【0027】10. 热衝撃試験に対する考察

熱衝撃の度合を記述するために、ビオ一係数βが一般的に用いられる。ビオ一係数βは(数1)の式で一般に定義される。ここで、hと表面熱伝達係数、kは熱伝達率、rは試験片の半分の厚さである。また、hは水冷却の場合、約4200～42000W/(m<sup>2</sup> K)であり、ビオ一係数βは表2のように見積もられる。

#### 【0028】

【数1】

$$\beta = \frac{h \cdot r}{k}$$

【表2】

## Biot Modulus and Parameters of Thermal Shock Test

Parameter		h *10 <sup>3</sup> W/(m <sup>2</sup> ·K)	k W/(m·K)	r mm	β
Tensile Test	CVI matrix	4.2 - 42	7	1.25	0.75 - 7.5
	Hybrid	4.2 - 42	5	1.25	1.05 - 10.5

【0029】引張強度の低下は、繊維の破損によるものと考えられる。熱サイクルによる強度低下を検討すると、繊維の破損は連続的に生じていると考えられる。表面の最大引張応力は、ビオ一係数 $\beta$ を用いて(数2)の式で見積もることができる。ここで、Eはヤング率、 $\alpha$ は熱膨張係数、 $\nu$ はポアソン比、 $\Delta T$ は温度差(およそ水急温度)、 $\sigma^*$ は無次元応力である。

【0030】

【数2】

$$\sigma_{\max} = \frac{E\alpha}{1-\nu} \Delta T \cdot \sigma^*$$

$$\frac{1}{\sigma^*} = 1.5 + \frac{325}{\beta} - 0.5e^{-16\beta}$$

【0031】図5は、マトリックス中のCVIマトリックスの体積比率( $V_{CVI}/V_m$ )と最大引張応力との関係図である。この図において、上の線は $h$ が17000W/(m<sup>2</sup>·K)の場合、下の線は $h$ が5000W/(m<sup>2</sup>·K)の場合を示している。(数2)の式及び図5から、最大引張応力は熱伝達率よりもヤング率に大きく依存することがわかる。表2から、CVIマトリックスは、ハイブリッドマトリックスの1.4倍の熱伝達率を有するがヤング率は2倍である。ここで熱伝達率を17000、ポアソン比を0.2、熱膨張係数を $3 \times 10^{-6}$ とすると、CVIタイプの最大引張応力は約300MPaとなるのに対して、ハイブリッドタイプでは約200MPaにすぎない。この優位性は引張試験の結果と一致している。従って、耐熱衝撃抵抗の観点で、熱応力(最大引張応力)を低減できるハイブリッドタイプが優れている。

【0032】図6は、CVI処理によるマトリックスの体積比率とCMCのヤング率との関係図である。この図において、横軸はCVI処理12によるマトリックスの体積比率であり、残部はPIP処理14によるマトリックスである。また、縦軸はCMCのヤング率である。上述したように、本発明の方法ではCVI処理で合成されるマトリックスの体積比率を約5%以上かつ約80%以下にする。図6から明らかのように、体積比率をこの範囲にすることにより、CVI処理のみ(横軸1.0)による従来のCMCに比較して、ヤング率を約30%から70%に低減することができる。なお、体積比率を5%

10 未満にすると、セラミックス繊維を囲む緻密なマトリックスが少なくなり、耐酸化性が低下する。また、80%を超えるとヤング率の低下率が小さく、後述する耐熱衝撃性を十分に高めることができない。

【0033】図7は、CVI処理のみによるCMCと本発明のセラミックス基複合部材の顕微鏡写真である。この図において、(A)の2枚はCVI処理のみによるCMC、すなわちCVIマトリックスタイプを、(B)の2枚はハイブリッド処理によるCMC、すなわち本発明のセラミックス基複合部材(ハイブリッドマトリックスタイプ)を示している。

20 【0034】図7(A)では、CVI処理により亀裂のない緻密なマトリックスがセラミックス繊維のまわりに形成されているのがわかる。従って、セラミックス繊維の拘束力が強く、ヤング率が高くなるため、繊維の変形に対するマトリックスの変形追従性が低く、一旦熱衝撃を受けると繊維まで亀裂が進展するため、引張強度が大幅に低下するものと考えられる。

【0035】一方、図7(B)では、CVI処理により亀裂のない緻密なマトリックスがセラミックス繊維のまわりに形成されるが、その間には隙間が存在し、その隙間にPIP処理によりマトリックスが含浸・充填されているのがわかる。また、このマトリックス(PIPマトリックス)には、微細な亀裂が多数存在している。このため、PIPマトリックスによるセラミックス繊維の拘束力が弱く、一種の柔構造となるため、ヤング率が低下し、この結果、熱応力が軽減され耐熱衝撃性が向上ものと考えられる。

【0036】なお、本発明は上述した実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変更できることは勿論である。

40 【0037】

【発明の効果】上述した本発明の方法(ハイブリッド処理)では、CVI処理により亀裂のない緻密なマトリックスがセラミックス繊維のまわりに形成され、その隙間にPIP処理によりマトリックスが含浸・充填される。従ってPIP処理は、CVI処理に較べてマトリックスの形成速度が早く、かつ短時間に繰り返し行うことができるので、これを繰り返すことにより、CVI処理後の隙間を完全に充填し、気密性を高めることができる。

50 【0038】また、PIP処理によるマトリックスに

は、微細な亀裂が存在するため、セラミックス繊維の拘束力が弱く、そのため、CVI処理に加えPIP処理を施す（例えばCVI処理によるマトリックスの体積比率を約5%以上、約80%以下にする）ことにより、CVI処理のみによる従来のCMCに比較して、ヤング率を低減することができ、その結果、熱応力が軽減され耐熱衝撃性が向上する。

【0039】更にこのように形成したセラミックス基複合部材は、成形した繊維織物の表面に形成されたSiCマトリックス層と、そのマトリックス層の隙間に形成された微細な亀裂を有するマトリックス層と、を備え、微細な亀裂を有するマトリックスによるセラミックス繊維の拘束力が弱いため、一種の柔構造となり、ヤング率が低下して、熱応力が軽減され耐熱衝撃性が向上する。

【0040】従って、本発明のセラミックス基複合部材及びその製造方法は、気密性と耐熱衝撃性を大幅に高めることができる、等の優れた効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のセラミックス基複合部材の製造方法を示すフロー図である。

【図2】本発明の実施例におけるチャンバの温度変化図である。

【図3】従来のCVI処理のみによるCMCの残存強度を示す図である。

【図4】本発明のハイブリッド処理によるCMCの残存強度を示す図である。

【図5】CVIマトリックスの体積比率と最大引張応力との関係図である。

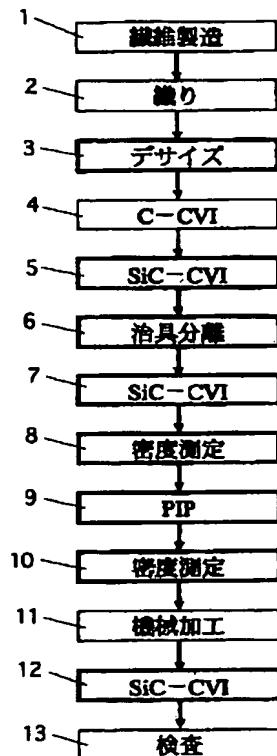
【図6】マトリックスの体積比率とCMCのヤング率との関係図である。

【図7】CVI処理のみによるCMC(A)と本発明のセラミックス基複合部材(B)の顕微鏡写真である。

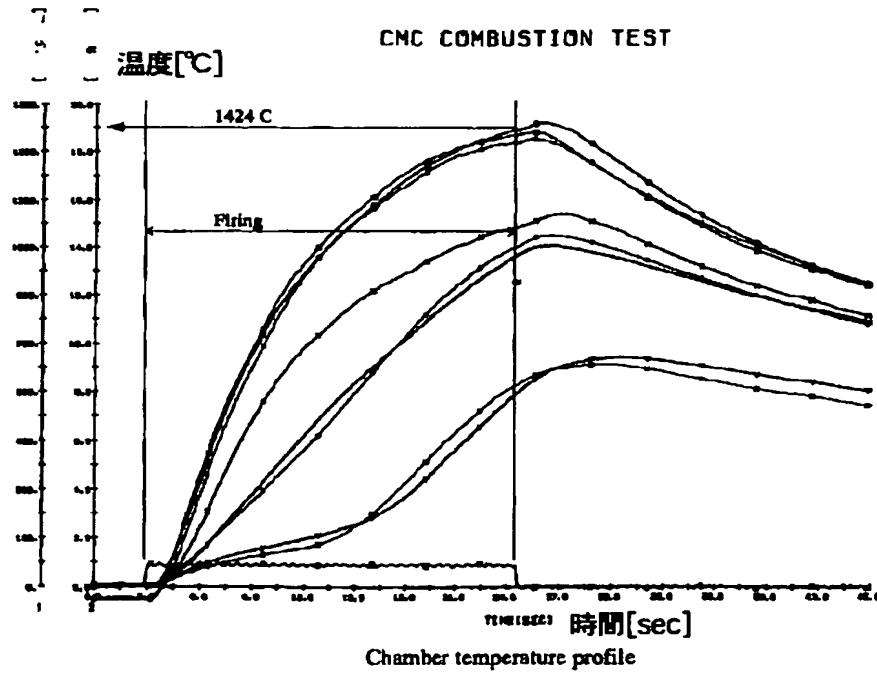
【符号の説明】

- 1 繊維製造工程
- 2 織り工程
- 3 デサイズ工程
- 4 C-CVI工程
- 5 SiC-CVI工程
- 6 治具分離工程
- 7, 12 SiC-CVI工程
- 8, 10 密度測定
- 9 PIP工程
- 11 機械加工工程
- 13 検査工程

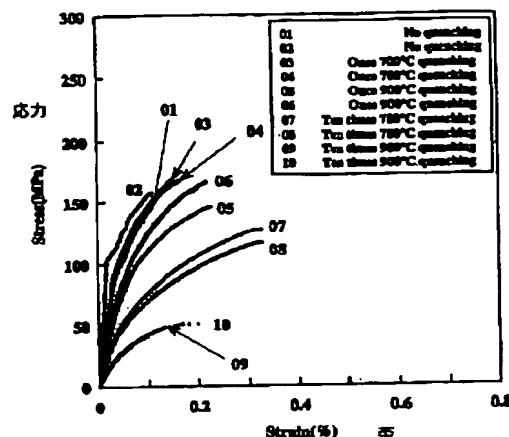
【図1】



【図2】

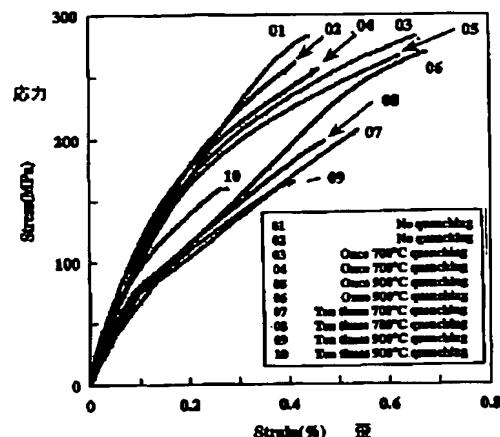


【图3】



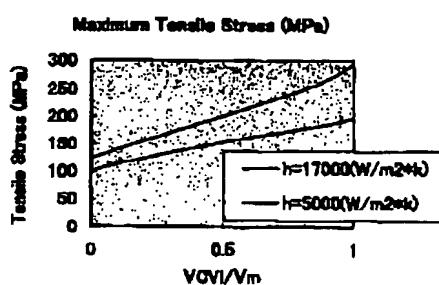
### Tensile Strength of CVI Matrix

【図4】

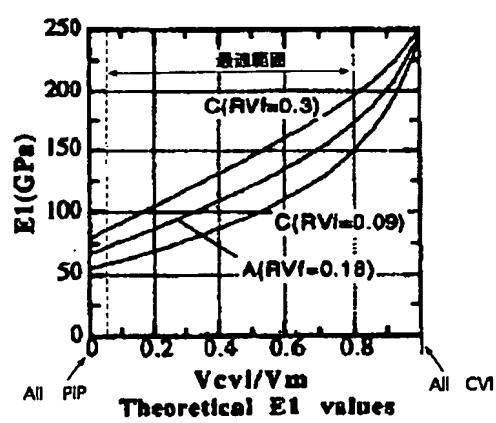


### Tensile Strength of Hybrid Matrix

【图5】

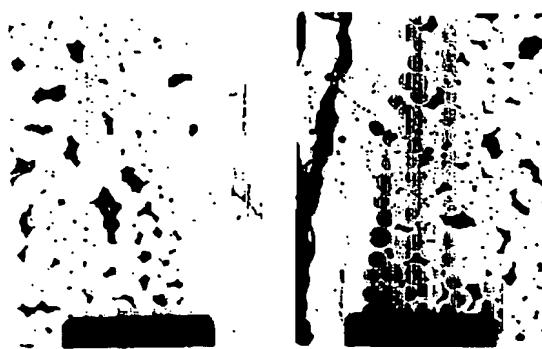


【图6】

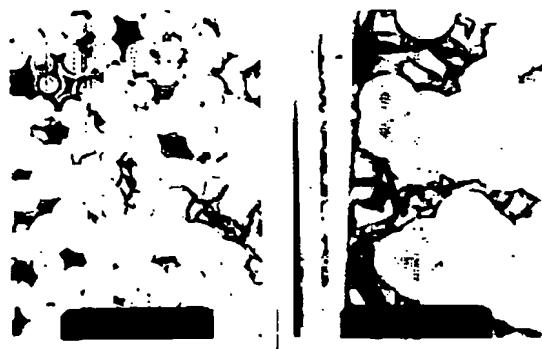


【図7】

(A)



(B)



BEST AVAILABLE COPY